

УДК 628

А.В.САПРЫКА

*Харьковская национальная академия городского хозяйства***ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РАЗРЯДНЫХ ЛАМП
В СТУПЕНЧАТОМ РЕЖИМЕ**

Определены пути повышения эффективности работы разрядных ламп высокого и сверхвысокого давления при работе в ступенчатом режиме.

В настоящее время высокоинтенсивные разрядные источники света широко используются в различных областях науки и техники: лазерной, осветительной, сигнальной технике, фотолитографии, фотохимии, медицине и т.д. Это обусловлено их высокой электрической мощностью, управляемостью в широком диапазоне напряжений, низкой энергией запуска, малой индуктивностью, высокой спектральной эффективностью для определенных групп приемников излучения. В ряде случаев достоинством разрядных источников света являются высокие цветовая температура и яркость разряда. Повышение эффективности работы источников света в облучательных и осветительных установках является важным направлением развития светотехники.

Физические возможности разрядных ламп высокого и сверхвысокого давления существующей номенклатуры еще не полностью реализованы. В работах [1, 2] указывается на возможность повышения световой отдачи ртутного разряда более 80 лм/Вт, а натриевых ламп – до 130-150 лм/Вт. Поэтому весьма актуальными и необходимыми являются исследования возможностей вариации режимов работы высокоинтенсивных источников света, что позволит расширить область их применения и повысить их энергетическую и спектральную эффективность. При этом следует учитывать, что разрядные лампы являются источниками гармонических составляющих, что может влиять на других потребителей электроэнергии.

Для более эффективного использования излучения лампы в современных установках экспонирования режим их питания целесообразно переводить в ступенчатый – в период экспозиции мощность питания увеличивать, а в период паузы уменьшать до значения ниже номинального. При этом среднюю мощность следует сохранять на уровне, близком к номинальному. Это значительно повышает эффективность использования установок экспонирования без реконструкции камеры для ламп, так как тепловая нагрузка на нее практически не изменяется. Однако, данных по работе разрядных

ламп при вариации ступенчатого режима, т.е. изменения отношения мощности ступени к мощности паузы, скважности и других параметров в настоящее время нет. Этим обусловлена необходимость проведения исследований изменения спектральных характеристик излучения, термического режима электродов и оболочки, световых параметров, предельных характеристик и долговечности ламп.

Несмотря на интерес к ступенчатому режиму и расширение области его применения, практически отсутствует анализ энергетической и спектральной эффективности его реализации в установках для приемников с различными функциями относительной спектральной чувствительности. Отсутствуют данные по деградационным процессам в источниках излучения при их работе в ступенчатом режиме.

Целью настоящей работы является определение условий повышения эффективности работы разрядных ламп в облучательных и осветительных установках за счет применения ступенчатого режима и определения наиболее благоприятных условий его реализации при высокой стабильности характеристик источников света и сохранении достаточной долговечности. Прямым путем повышения энергетической эффективности источников света является увеличение их мощности в активный технологический период (в период экспозиции) и снижения ее в периоды технологических пауз. При работе лампы в режиме непрерывного горения повышение мощности вызывает значительные дополнительные тепловые нагрузки как на лампу, так и на элементы облучательной установки. Возможны различные варианты реализации ступенчатого режима в зависимости от вида облучательных установок. В целях кратковременного повышения излучательных характеристик возможно наложение на режим постоянного горения однократных импульсов тока, при этом их амплитуда может превышать номинальное значение разрядного тока в десятки раз. При значительных временах экспозиции режим изменения мощности может иметь многоступенчатую форму, а ее максимальное значение превышает средний уровень в 1,5-3 раза. Одним из вариантов реализации ступенчатого изменения мощности является режим модуляции тока, что означает использование для питания ламп периодических импульсов тока с определенной частотой, скважностью и глубиной модуляции. При этом средняя мощность лампы остается на уровне мощности режима постоянного горения. При ступенчатом режиме спектральные характеристики ламп могут изменяться, происходит перераспределение излучения по спектру, что, в ряде случаев, может обеспечить повышение КПД

облучательных установок. Увеличении мощности лампы по отношению к среднему значению приводит к увеличению светового потока без дополнительной средней тепловой нагрузки на элементы лампы и облучательной установки.

В ряде случаев ступенчатый режим, при постоянной средней мощности, повышает эффективность технологических процессов, например при полимеризации эпоксидных смол или при облучении растений за счет периодичности воздействия [3, 4].

Для оптимизации режимов работы лампы в облучательной установке необходимо знать основные закономерности динамики воздействия разряда на основные элементы лампы, термический режим экспозиционной камеры, воздействие излучения на облучаемую среду.

В первую очередь оценим энергетическую и спектральную эффективность ламп при работе в ступенчатом режиме для различных фоточувствительных материалов.

Энергетическую эффективность применения ступенчатого режима будем определять энергетическим КПД $\eta_э$, равным отношению энергии, потребляемой источником излучения во время экспозиции $Q_{эк}$, к энергии, потребляемой за цикл экспозиция – пауза $Q_{ц}$:

$$\eta_э = Q_{эк} / Q_{ц} = Q_{эк} / (Q_{эк} + Q_{п}), \quad (1)$$

где $Q_{п}$ – энергия, расходуемая за время паузы.

В соответствии с (1) можно записать:

$$\eta_э = P_{эк} t_{эк} / (P_{эк} t_{эк} + P_{п} t_{п}), \quad (2)$$

где $t_{эк}$ – время экспозиции (рабочая часть цикла); $t_{п}$ – время паузы (технологически необходимое время между двумя экспозициями); $P_{эк}$ и $P_{п}$ – мощности во время экспозиции и во время паузы соответственно.

Рассмотрим двухступенчатый режим и будем полагать, что как во время экспозиции $t_{эк}$, так и во время паузы $t_{п}$, мощности $P_{эк}$ и $P_{п}$ равны ($P_{эк} = P_{п}$) и останутся постоянными во времени. В этом случае $\eta_э$ будет равно:

$$\eta_э = t_{эк} / (t_{эк} + t_{п}) = t_{эк} / t_{ц}, \quad (3)$$

где $t_{ц} = t_{эк} + t_{п}$ – время полного цикла экспозиция – пауза.

Из (3) следует, что при постоянной мощности источника излучения, равной, как правило, номинальной его мощности, $\eta_э$ можно повысить только за счет уменьшения длительности паузы, которая для каждой технологической установки является постоянной величиной.

Другой путь заключается в увеличении мощности в период экспозиции и уменьшения ее в период паузы при сохранении средней мощности. При этом будет сокращаться время экспозиции ($Q_{эк}$ должно быть, в первом приближении, постоянным). Предельно достижимый при этом энергетический КПД будет стремиться к единице при $R_n = 0$. Но для большинства разрядных источников излучения такой режим неприемлем, так как в период паузы по целому ряду причин должен сохраняться определенный уровень мощности и энергетический КПД должен определяться по соотношению (2).

Дополнительное повышение эффективности возможно за счет вариации спектрального состава излучения в период экспозиции (ступени). Это возможно сделать на основе исследования электрических и оптических характеристик в различных режимах ступенчатого изменения мощности.

В качестве предмета исследований были выбраны наиболее распространенные в облучательных и экспозиционных установках лампы.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана установка, которая служит для обеспечения заданного режима питания ламп, измерения светотехнических и электрических параметров, исследования энергетической и спектральной эффективности, анализа нагрузочных и деградационных процессов на элементах ламп.

Конструкция установки обеспечивала управление элементами схемы и синхронизацию их работы, широкий диапазон изменения параметров питания ламп в ступенчатом режиме, изменение длительности тока на ступенях и паузах.

Оценка эффективности излучения источников $\Phi_{эф}$ для приемников с различными функциями относительной спектральной чувствительности $s(\lambda)$ производилась по уравнению

$$\Phi_{эф} = \int \varphi(\lambda) s(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

где $\varphi(\lambda)$ – нормированная спектральная плотность излучения – $\int \varphi(\lambda) d\lambda = 1$.

По приведенному уравнению были проведены расчеты $\Phi_{эф}$ различных фоточувствительных материалов для трех типов источников света с различающимися спектрами излучения в номинальных режимах работы - ДРТ, ДРШ, ДнаТ. Для сравнения были взяты $s(\lambda)$ фоточувствительных материалов: позитивный фоторезист нафтохинондиазид (НХД), негативный фоторезист поливинилциннамат (ПВЦ), несенсибилизированная бромсеребрянная фотоэмульсия и сенсибили-

зированные – панхром и ортохром. Графики относительной спектральной чувствительности этих материалов приведены на рис.1. Максимальная спектральная чувствительность всех материалов принималась равной единице. Результаты расчетов приведены в таблице.

Эффективность излучения источников $\Phi_{\text{эф}}$ для приемников с различными функциями относительной спектральной чувствительности

	НХД	ПВЦ	НЕСЕН- СИБИЛ	ОРТО- ХРОМ	ПАН- ХРОМ	$V(\lambda)$
ДРШ	1,0	0,86	0,33	1,0	1,0	0,466
ДРТ	0,77	1,0	1,0	0,76	0,95	0,438
ДНАТ	0,12	0,334	0,054	0,039	0,125	1,0

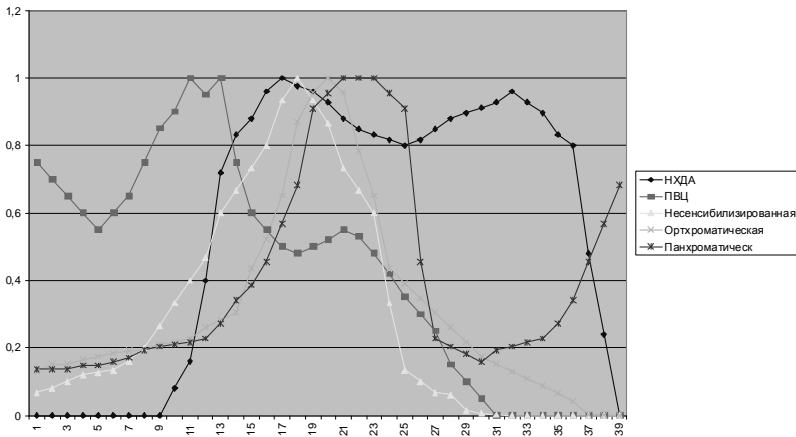


Рис.1 – Относительная спектральная чувствительность фоточувствительных материалов

Из приведенных данных видно, что для каждого типа фоточувствительных материалов наиболее эффективными являются излучения различных типов источников (рис.2).

Дальнейшие исследования изменения спектрального состава излучения в период ступени показали, что эффективность излучения для приемников различных групп изменяется неодинаково. При увеличении мощности в период ступени в 2 раза от номинальной спектральная эффективность излучения лампы ДРШ, оцененная по уравнению (4), для фоточувствительных ПВЦ увеличивается на 20 и 30% для НХД, а для излучения ДРТ – приблизительно на 25 и 20% соответственно. Из этого следует, что спектральная эффективность излучения ламп в ступенчатом режиме может быть существенно увеличена и при конкрет-

ных разработках ступенчатых режимов необходимо проводить анализ спектрального состава излучения и оценивать его эффективность.

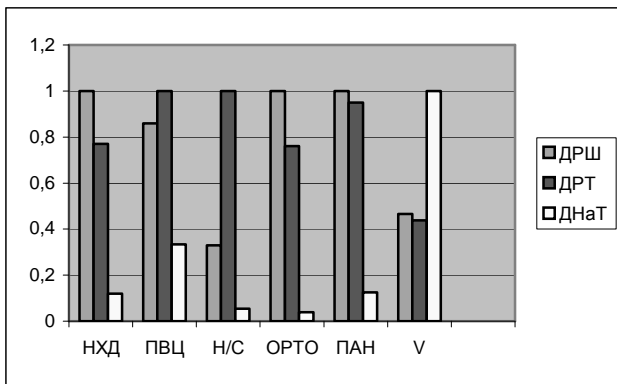


Рис.2 – Эффективность излучения источников $\Phi_{эф}$ для приемников с различными функциями относительной спектральной чувствительности

Анализ параметров ламп в современных осветительных и облучательных установках различного назначения показывает, что колебания сетевого напряжения оказывают наибольшее влияние на световой поток и мощность лампы. Световой поток ламп увеличивается практически прямо пропорционально мощности лампы.

Измерение качества электрической энергии и влияние на него уровня напряжения сети проводили с помощью анализатора тока и напряжения в электрических сетях «АНТЕС». Исследовали работу лампы типа ДНаТ-250 как нелинейного потребителя электроэнергии, оказывающего влияние на качество электрической энергии в электрических сетях, а также гармонические составляющие тока и напряжения при различных режимах.

Амплитуды 3, 5 и 7 гармоник напряжения на лампе при изменении напряжения питания от 160 до 250В составляют соответственно от первой гармоники: 34-35%, 20-25%, 15-18%. Это необходимо учитывать при создании осветительных установок и при необходимости применять схемы компенсации.

Таким образом, установлено, что в ступенчатом режиме эффективность использованной подводимой энергии увеличивается пропорционально отношению мощности ступени к мощности паузы. Эффективность действия излучения определяется изменением спектрального состава в период ступени и спектральной чувствительностью экспонируемого материала и может быть увеличена в 1,2-1,3 раза. При экс-

плуатации ламп типа ДНаТ желательно устанавливать фильтр для высших гармоник с номерами 3, 5, 7, что позволит повысить качество электроэнергии в питающей сети. Дальнейшее исследование следует направить на обеспечение стабильности ламп в ступенчатом режиме и определение предельно допустимых нагрузок на основе анализа дегра-
дационных процессов в элементах конструкции ламп.

1.Вдовин В.Г., Зазыгин П.В., Федоренко А.С. Распределение концентрации атомов ртути по возбужденным состояниям в плазме разряда высокого давления // Светотехника. – 1999. – №2. – С. 2-5.

2.Рохлин Г.Н. Работа натриевых ламп высокого давления в пульсирующем режиме // Светотехника. – 2001. – №3. – С. 2-8.

3.Овчинников С.С., Никитченко Т.Ю., Сапрыка А.В. Динамика термического режима электродов короткодуговых ламп наружного освещения в городском хозяйстве // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 5. – К.: Техніка, 1996. – С.84-85.

4.Герц А.И., Андрейчук В.А., Грубинко В.В. Влияние типа источника излучения и условий облучения на рост и развитие растений с коротким вегетационным периодом // Материалы Международной научной конференции «Биологические ресурсы и устойчивое развитие». – Пушкино, Россия, 29 октября - 2 ноября 2001г. – С.93-94.

Получено 16.02.2004

УДК 621.3

А.А.ХАРИСОВ, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

К ВОПРОСУ ТОЧНОГО РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ КРУГОВЫХ ПРОВОДНИКОВ

С использованием методов электродинамики сплошных сред, учетом нормального («колоколообразного») распределения плотности постоянного тока в уединенных прямых цилиндрических проводниках круглого поперечного сечения выведены формулы точного расчета электродинамической силы взаимодействия параллельных прямолинейных круговых проводников.

Явление электродинамического взаимодействия проводников с электрическим током хорошо известно в физике и электротехнике [1] и широко используется в различных физико-технических и электротехнических устройствах. Вместе с тем существующие расчетные модели электродинамической силы взаимодействия электрических проводников обычно упрощены и в этой связи далеко не всегда достаточно адекватны реальным значениям данного явления. Как показывает физико-математический анализ, связано это в основном с определенными трудностями определения реальной формы распределения плотности тока в проводниках, с одной стороны, и фактическим игнорированием неравномерной нелинейности зависимости электродинамиче-